

# NUEVOS MATERIALES DE BASE YESO CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE CAUCHO: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA.

Ana Jiménez Rivero <sup>(1)</sup>, Ana de Guzmán Báez <sup>(1)</sup>, Justo García Navarro <sup>(1)</sup>, Mariano González Cortina <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria (giSCI). Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Agrónomos. Avda. Complutense 28040 Madrid, España.

E-mail: [ana.jimenez.rivero@alumnos.upm.es](mailto:ana.jimenez.rivero@alumnos.upm.es); [ana.deguzman@upm.es](mailto:ana.deguzman@upm.es); [justo.gnavarro@upm.es](mailto:justo.gnavarro@upm.es)

<sup>(2)</sup> Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid. E.U. Arquitectura Técnica. Avda. Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid, España.

E-mail: [mariano.gonzalezc@upm.es](mailto:mariano.gonzalezc@upm.es)

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es contribuir a la valorización del residuo de caucho sintético que proviene de coquillas aislantes de tuberías, estudiando su comportamiento formando parte del material compuesto escayola-caucho.

Para ello se ha elaborado un plan experimental que permite evaluar su idoneidad como material de construcción, caracterizando el nuevo compuesto desde el punto de vista físico-mecánico; peso desecado, dureza Shore C, resistencia a flexión y resistencia a compresión.

Se han estudiado cuatro granulometrías de residuo de caucho, 1-2 mm, 2-4 mm, 4-6 mm y 20-25 mm y distintos porcentajes de incorporación a la escayola, 1,25%; 2,50%; 5,00% y 7,50%, con una relación de agua/escayola de 0,76.

Los resultados de los ensayos muestran que a pesar de que las resistencias mecánicas disminuyen con la incorporación del caucho, se obtiene un material de baja densidad, existiendo buena compatibilidad entre el residuo de caucho y la matriz de escayola, distribuyéndose los granos de caucho uniformemente en las probetas.

Palabras clave: residuo de caucho, escayola, dureza Shore C, resistencia a flexión-compresión.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to contribute to the valorization of synthetic rubber wastes that come from pipe insulation shells, studying their behavior as part of a new composite gypsum-rubber material.

An experimental plan has been developed in order to assess its suitability as a construction material characterizing, the new compound from a physical and mechanical point of view; dry weight, Shore C hardness, flexure strength and compression strength.

Four particle size waste rubber, 1-2 mm, 2-4 mm, 4-6 mm and 20-25 mm, and different rates of waste rubber additions to plaster, 1,25%; 2,50%; 5,00% and 7,50%, have been analyzed, with water/plaster ratio of 0.76.

The results show that although mechanical resistance decreases with the addition of rubber particles, a low density material is obtained, existing a good compatibility between the rubber waste and plaster matrix: rubber grains are evenly distributed in the specimens.

Keywords: rubber waste, plaster, Shore C hardness, flexure- compression strength.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en España la gestión de los residuos está regulada jurídicamente por la Ley 10/1998 que pretende fomentar su reducción y no eliminación en vertedero. Con ella se estableció la necesidad de elaborar planes específicos para los diferentes tipos de residuos, siendo el Plan Nacional Integrado de Residuos para el periodo 2008-2015 (PNIR) el actualmente en vigor en el territorio español.

La tendencia actual de los países desarrollados es la producción continua de residuos vinculada al creciente desarrollo tecnológico. Actualmente existe mayor grado de sensibilización por parte de la sociedad, existiendo infraestructuras que permiten el tratamiento de ciertos residuos y un sector especializado en gestionarlos. Sin embargo, los objetivos marcados en materia de reciclaje y valorización están lejos de la realidad actual puesto que un elevado porcentaje de residuos generados acaban anualmente en vertedero.

El abandono o su inadecuada gestión producen impactos notables en el medio, contribuyendo al cambio climático y afectando a los distintos ecosistemas así como a la salud humana. Por otro lado, cuando los residuos se gestionan de manera adecuada se convierten en recursos, generando un ahorro de materias primas.

Este trabajo contribuye a la valorización del residuo de caucho sintético proveniente de la fabricación de coquillas aislantes de tuberías. Este tipo de residuo se contempla dentro del PNIR dentro de los Residuos Industriales No Peligrosos (RINP), siendo éstos los producidos dentro de una actividad industrial y no estando identificados como peligrosos en la Lista Europea de Residuos (Orden MAM/304/2002).

Por otro lado, durante el proceso de instalación en obra, así como en el proceso de deconstrucción de edificios, éstos residuos se clasifican como Residuos de Construcción y Demolición (RCD), incluidos en el capítulo 17 de la Lista Europea de Residuos: 17 02 03 Plástico.

Anualmente cientos de toneladas de este residuo de caucho sintético tienen como destino final el vertedero, lo que supone un grave problema medioambiental. Se pretende con este estudio analizar la posibilidad de reciclaje del mismo, incorporándolo en nuevos materiales compuestos de construcción. Sólo en España, en torno a 400 toneladas de residuo son enviadas anualmente a vertedero por parte de un único fabricante. Teniendo en cuenta la baja densidad de este material, es enorme la cantidad en volumen que supone como residuo.

Existe cierta experiencia de investigadores que han estudiado el reciclaje del caucho procedente de Neumático Fuera de Uso (NFU), en nuevos materiales (Rodríguez Montejano, R. 1997), Nehdi, M. *et al.* (2001), Turgut, P. *et al.* (2008), Yesilata, B. *et al.* (2009), si bien es cierto que ambos cauchos son bien distintos. El caucho de coquilla aislante es un caucho nitrílico que difiere en apariencia del procedente de NFU. El primero se trata de una espuma blanda y flexible con una ínfima densidad que varía entre los 45 y los 100 kg/m<sup>3</sup> mientras que el segundo es un material duro y poco flexible con una densidad mucho mayor, variando entre los 390 y los 535 kg/m<sup>3</sup>.

También son múltiples las investigaciones que se han llevado a cabo en los últimos años incorporando fibras procedentes de residuos agrícolas, tanto de cáscara de

arroz y sisal como de corcho, o sobre el reciclaje de los propios residuos de yeso procedentes de RCD a matrices de yeso, Hernández Olivares, F., *et al.* (1992, 1999), Oteiza San José *et al.* (1993), Singh, M. *et al.* (1994), Madariaga, F. J. *et al.* (2008), Kim, S. (2009), Leiva Aguilera, M.J. *et al.* (2010), Romaniega Piñeiro, S. *et al.* (2010), Rodríguez Orejón, A. *et al.* (2010).

De la bibliografía y documentación consultada se puede concluir que no existe ninguna experiencia previa que analice la incorporación de residuos de caucho procedente de coquilla aislante en nuevos materiales. Tampoco ningún estudio que proponga su reciclaje por vías alternativas de valorización.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es la caracterización físico-mecánica del nuevo material compuesto de base yeso, con incorporación de residuo de caucho, para determinar su idoneidad formando parte de materiales o elementos constructivos.

Este estudio se realiza teniendo en cuenta distintas granulometrías de caucho para evaluar posibles mejoras con determinados tamaños, teniendo preferencia por granulometrías mayores ante similares prestaciones puesto que todas las acciones destinadas a disminuir el tamaño del material encarecerían el residuo y supondrían un coste energético adicional. Además, se busca el máximo porcentaje de adición en la matriz sin comprometer las resistencias mecánicas del compuesto.

El nuevo material compuesto yeso-caucho, significa la unión de dos materiales bien distintos:

- Por una parte el yeso, material de construcción de empleo milenario, utilizado tradicionalmente en las edificaciones, que es al mismo tiempo un material de actualidad por sus excepcionales prestaciones.
- Por otra, el residuo de coquillas de caucho, utilizado en edificación para el aislamiento térmico de tuberías en instalaciones y que tienen como principal objetivo el ahorro de energía.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales.

#### Escayola

La escayola utilizada es Iberyola E-35, de la casa comercial PLACO. Inicialmente en laboratorio se determinó la relación agua/escayola (A/E) del producto para comprobar que efectivamente se encuentra entre los límites fijados por el fabricante. Para ello se ha recurrido a la Norma UNE-EN 13279-2, donde se especifica que para conglomerantes a base de yeso la relación se determina con el método de amasado a saturación.

La media de los resultados obtenidos es 0,76, siendo un valor comprendido entre los determinados por el fabricante (0,70-0,80).

#### Coquilla elastomérica triturada de caucho sintético

El caucho utilizado es residuo de coquilla elastomérica triturada SH/ARMAFLEX de la empresa Armacell Iberia S.L. (Figura 1). Estas coquillas se utilizan en edificación para el aislamiento de sistemas de instalaciones de calefacción e hidrosanitaria, con el objetivo de evitar pérdidas energéticas a lo largo de los conductos (Armacell Enterprise GmbH, 2011).

Por medios propios de la empresa se consiguió un tamaño de residuo de unos 20-25 mm de media (Figura 2), con el que se comenzó a trabajar.



Figura 1. Residuo de coquilla elastomérica.



Figura 2. Tamaño de residuo 20-25 mm

Este material tiene una conductividad térmica a 10°C de 0,036 W/mK (UNE -EN 12667:2002), su reacción al fuego es M-1 B1/B2 (UNE 23727:1990 DIN 4102), además tiene un efecto aislante acústico de 30 dBA (DIN 4109) y posee una buena resistencia al envejecimiento y a la putrefacción.

## 2.2 Plan experimental.

El proceso experimental se ha realizado en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid.

Se ha experimentado con distintos porcentajes de incorporación del residuo para estudiar la evolución del material compuesto a medida que aumenta el contenido de caucho. Éstos han sido calculados respecto al peso de la escayola utilizada.

Los porcentajes elegidos son: 1,25%, 2,50%, 5,00% y 7,50%.

Cabe mencionar que se contempló la incorporación de porcentajes mayores, pero a partir del 7,50% de caucho incorporado, el volumen de residuo en la mezcla, supera al de la escayola, y no es posible conseguir una correcta homogeneización de la escayola y el caucho.

Son cuatro los tamaños estudiados, obtenidos tres de ellos tras la trituración mecánica en laboratorio, a partir del residuo recibido de la empresa Armacell Iberia S.L. (Figura 3).



Figura 3. Granulometrías empleadas, de izquierda a derecha: 20-25 mm, 4-6 mm, 2-4 mm y 1-2 mm.

Se han confeccionado probetas prismáticas de 40x40x160 mm, realizando la mezcla en mezcladora amasadora y vertiéndola en moldes triples de acero templado rectificado y que cuentan con certificado de calibración y verificación.

- La relación A/E es de 0,76.
- Cada serie elaborada consta de tres probetas

Las probetas debidamente identificadas se mantienen durante 6 días en atmósfera de laboratorio. Después, se introducen durante 24 horas en estufa a una temperatura de  $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . En este tiempo adquieren masa constante.





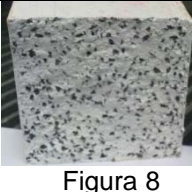
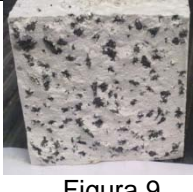


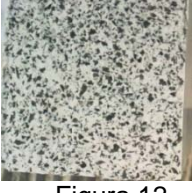
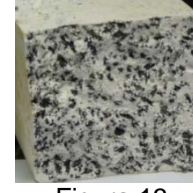

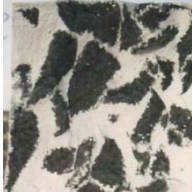




Posteriormente, ya transcurridos los 7 días, se enfrían en desecador hasta alcanzar la temperatura del laboratorio y se someten a ensayo. Todas las probetas se pesan al desmoldar y a los 7 días tras sacarlas de la estufa (peso desecado).

La norma de referencia para el proceso descrito es la UNE-EN 13279-2 “Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: métodos de ensayo”.

Posteriormente se realizan los ensayos de dureza shore C, Norma UNE-EN 102-039-85, de resistencia a flexión y resistencia a compresión, Norma UNE-EN 13279-2, en prensa monitorizada modelo Autotest-200/10-SW, y software de aplicación para máquinas de ensayo Wintest 32.

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestran imágenes de las probetas de escayola-caucho con los distintos tamaños y porcentaje de residuo incorporado (Figuras 4-19).

	1-2 mm	2-4 mm	4-6 mm	20-25 mm
1,25%	 Figura 4	 Figura 5	 Figura 6	 Figura 7
2,50%	 Figura 8	 Figura 9	 Figura 10	 Figura 11
5,00%	 Figura 12	 Figura 13	 Figura 14	 Figura 15
7,50%	 Figura 16	 Figura 17	 Figura 18	 Figura 19

Figuras 4-19. Probetas de escayola-caucho con distinto porcentaje y tamaño de residuo

#### 3.1 Dureza superficial

Los valores de dureza presentan una gran variabilidad en los resultados, puesto que si la medida se toma cercana a un grano de caucho el valor obtenido es mucho menor (Tabla 1). Este hecho se hace más patente a mayores porcentajes de residuo incorporado y en tamaños pequeños de grano, puesto que un mayor volumen de la probeta está cubierto por este material (Compárense Figuras 8 y 10).

Tabla 1. Dureza Shore C.

Dureza Shore C				
	1-2 mm	2-4 mm	4-6 mm	20-25 mm
1,25%	77	80	81	84
2,50%	75	82	82	81
5,00%	75	76	73	64
7,50%	71	66	77	62
Dureza superficial Shore C de la serie de referencia = 84				



### 3.2 Peso desecado

La incorporación de residuo de coquilla aislante a las probetas de escayola supone en todos los casos una reducción en la masa del elemento (Figura 20).

Con granulometrías 1-2 mm, 2-4 mm, y 4-6 mm, a una misma relación A/E, ante mismos porcentajes de adición se consiguen similares reducciones de peso.

Es con el tamaño 20-25 mm, con el que se observa una disminución de masa más acusada respecto al resto de tamaños, llegando a producirse un descenso del 48% en la densidad del compuesto respecto a la escayola de referencia.

Esta pérdida de peso está íntimamente relacionada con la disminución de resistencias mecánicas del material para todos los tamaños estudiados (más adelante, Figura 24).

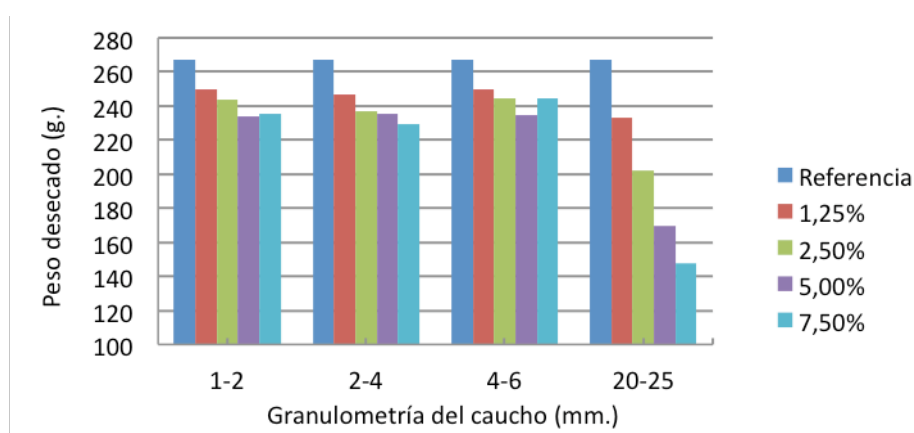


Figura 20. Pesos desecados

### 3.3 Resistencia a flexión

En general, la resistencia a flexión disminuye a mayor presencia de residuo y a mayor tamaño del mismo (puede deberse al mayor volumen ocupado por cada grano de caucho) sin llegar a obtenerse valores por debajo de 1 N/mm<sup>2</sup> (Tabla 2).

Tabla 2. Resistencia a flexión.

Resistencias a flexión (N/mm <sup>2</sup> )				
	1-2 mm	2-4 mm	4-6 mm	20-25 mm
1,25%	3,91	3,32	3,77	4,05
2,50%	3,19	2,86	2,68	2,48
5,00%	2,57	2,78	2,31	1,35
7,50%	2,44	1,98	2,29	1,10
Resistencia a flexión de la serie de referencia = 5,41 N/mm <sup>2</sup>				

Los tamaños 1-2 mm, 2-4 mm y 4-6 mm se comportan de manera similar, disminuyendo su peso y su resistencia a flexión hasta un límite que está en torno a  $2,00 \text{ N/mm}^2$  (Figura 22).

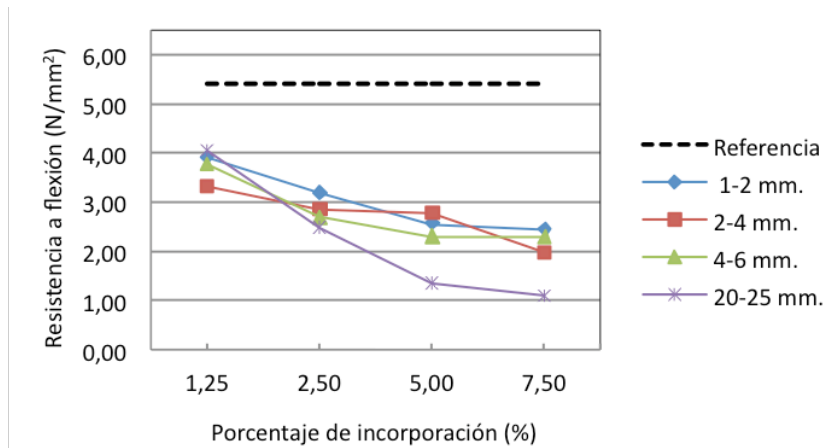


Figura 22. Porcentaje de caucho – resistencia a flexión de las probetas.

Tras alcanzar la carga de rotura, no se produce separación entre las dos partes, quedando en algunos casos fuertemente unidas. Con los mayores tamaños de residuo, la probeta se fisura, sin llegar a romper, puesto que los granos de caucho “cosen” ambas partes (Figura 23). Es por ello que puede afirmarse que la adición de este residuo aumenta en gran medida la tenacidad del material.



Figura 23. Probeta con el 5% de caucho tamaño 2-4 mm, tras su rotura a flexión.

A continuación se relaciona la resistencia a flexión y el peso de las probetas en las series con tamaño de residuo 2-4 mm (Figura 24). A mayor contenido de caucho disminuye el peso de la probeta y la resistencia a flexión es menor.



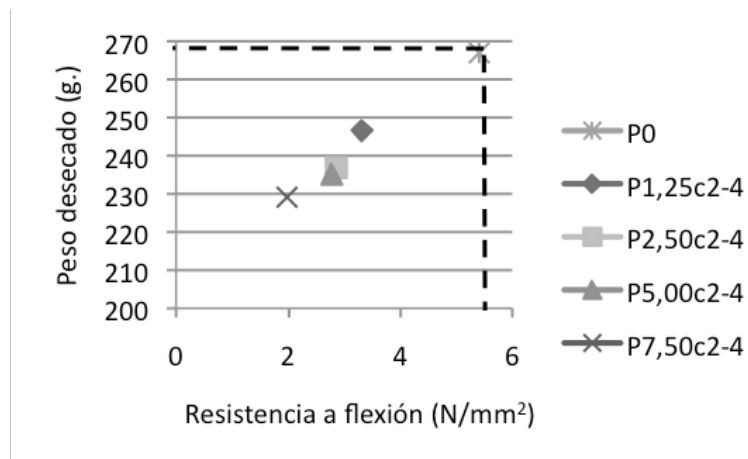


Figura 24. Resistencia a flexión - peso desecado series con tamaño 2-4 mm

### 3.4 Resistencia a compresión

Alcanzada la carga de rotura, los fragmentos en que queda dividida la probeta permanecen unidos, lo que permite que el material se deforme una vez se supera dicha carga (Figura 25).

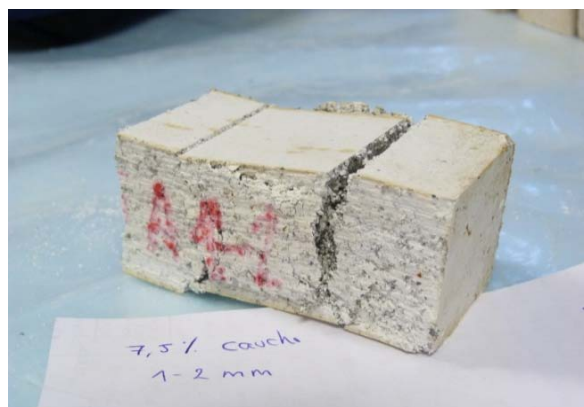


Figura 25. No se producen desprendimientos de material tras alcanzar la carga de rotura.

Los valores de resistencia a compresión son inferiores con mayores granulometrías y porcentaje de residuo, considerándose no aceptables los obtenidos con las series con 20-25 mm y 5,00% / 7,50% de caucho (Tabla 3 y Figura 26).

Tabla 3. Resistencia a compresión

	Resistencias a compresión (N/mm <sup>2</sup> )			
	1-2 mm	2-4 mm	4-6 mm	20-25 mm
1,25%	7,86	7,49	8,29	7,33
2,50%	6,00	5,79	5,46	3,91
5,00%	4,77	4,54	3,77	1,90
7,50%	4,01	3,25	3,87	0,97
Resistencia a flexión de la serie de referencia = 11,99 N/mm <sup>2</sup>				

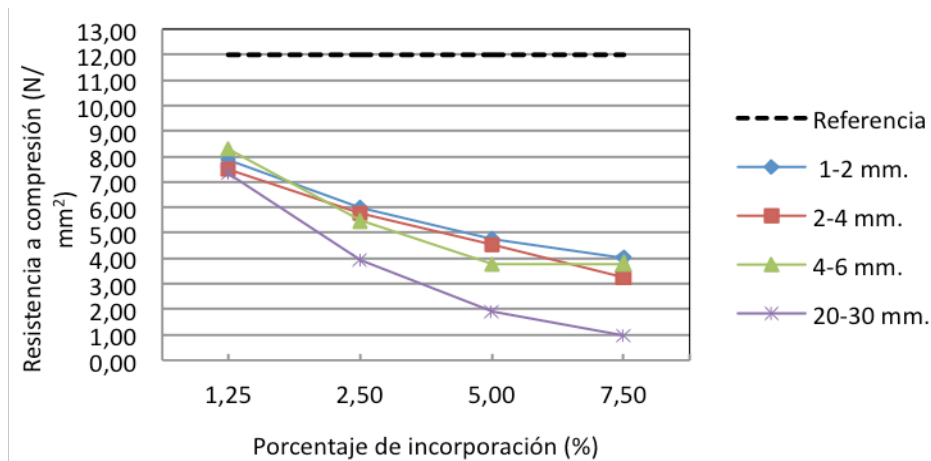


Figura 26. Porcentaje caucho – Resistencia a compresión

En general, las resistencias mecánicas del material disminuyen a mayor tamaño de residuo, puesto que los poros que producen en la matriz los mayores granos de caucho hacen comprometer las resistencias del material (Figura 27).

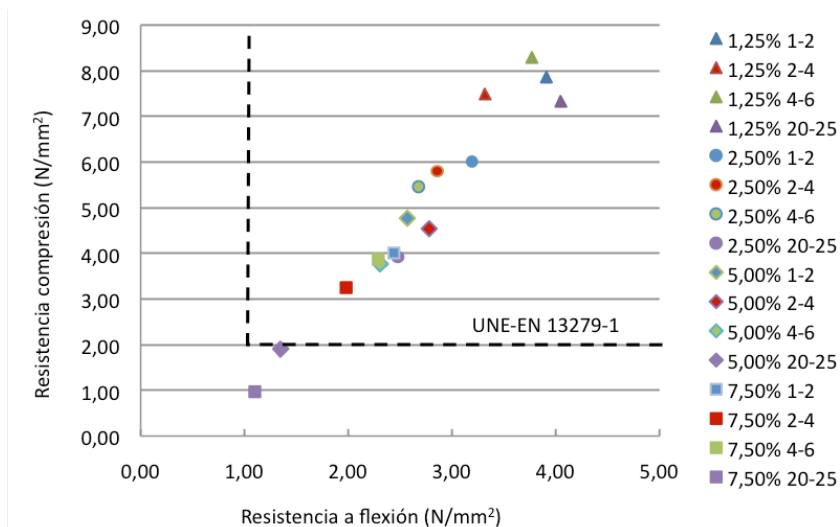


Figura 27. Gráfica resistencias mecánicas

#### 4. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados, se concluye lo siguiente:

- Existe buena compatibilidad entre el residuo de caucho que procede de coquilla aislante y la matriz de escayola. Los granos de caucho se distribuyen uniformemente en las probetas. Aún teniendo una baja densidad, no flota: se envuelve con la escayola en polvo formando una pasta de aspecto homogéneo.
- El porcentaje máximo de adición es el 7,50% de residuo en peso de escayola. En volumen, se trata de gran cantidad de material, superando al contenido de escayola.
- El material escayola – residuo de caucho es más ligero: se consiguen reducciones de hasta el 48% de peso respecto a la serie de referencia.
- Las resistencias mecánicas disminuyen, siendo en general menores a mayor cantidad de residuo y mayor granulometría de este. Los valores obtenidos son en la mayor parte de las series superiores a los mínimos exigidos para los yesos para la construcción en la Norma UNE-EN 13279-1.

A pesar de que las resistencias mecánicas de las probetas de escayola disminuyen con la incorporación del residuo de caucho (dentro de los límites marcados por la norma), se ha obtenido un material ligero, de baja densidad. Se trata por tanto de un residuo idóneo para formar parte de materiales y elementos constructivos, existiendo buena compatibilidad con la matriz de escayola.

#### Agradecimientos:

Al laboratorio de “Materiales de Construcción” de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid, donde se han desarrollado los trabajos necesarios para la elaboración de este estudio, y a las empresas Placo Saint-Gobain y Armacell Iberia S.L., por aportar el material necesario para la elaboración de las probetas realizadas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

**Armacell Enterprise GmbH** (2011). Manual de Instalación Armaflex.

**González Madariaga, F.J., Lloveras Macia, J.** (2008) Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. *Informes de la Construcción*, 60, pp. 35-43. ISSN: 0020-0883.

**Hernández-Olivares F., Oteiza I, De Villanueva L.** (1992) Experimental analysis of toughness and modulus of rupture increase of sisal short fiber reinforced hemihydrated gypsum. *Composite Structures*, Vol. 22. nº. 3. pp. 123-137.

**Hernández-Olivares, F., Bollati, M.R., Del Rio, M., Parga-Landa, B.** (1999) Development of cork-gypsum Composites for building applications. *Construction and Building Materials*, nº 13 pp. 179-186.

**Kim, S.** (2009) Incombustibility, physico-mechanical properties and TVOC emission behavior of the gypsum-rice husk boards for wall and ceiling materials for construction. *Industrial Crops and Products*, 29. pp. 381-387.

**Leiva Aguilera, M.J., Del Río Merino, M.** (2010) Escayola aditivada con residuos de arroz. *Trabajo Fin de Máster en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid*, Máster Técnicas y Sistemas de Edificación.

**Ley 10/1998**, de 21 de abril, de Residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 22 de abril de 1998, núm. 96, pp. 13372

**Nehdi, M., Khan, A.** (2001) Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications. *Cement, Concrete and Aggregates*, nº 23, pp. 3-10.

**Orden MAM/304/2002**, de 8 de Febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 19 de febrero de 2002, núm. 43, pp. 6494.

**Oteiza San José, I., Villanueva y Domínguez, L.** (1993) Estudio del comportamiento de la escayola reforzada con fibras de sisal, para componentes en viviendas de bajo coste. *Informes de la Construcción*, vol. 45, nº 425-426. Tesis Doctoral.

**Plan Nacional Integrado de Residuos** para el período 2008-2015 (PNIR), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. *Boletín Oficial del Estado* nº 49 de 26/02/2009, pp. 19893.

**Rodríguez Montejano, R.M.** (1998) Reciclado de neumáticos usados para su utilización como materiales acústicos. *Mapfre Seguridad*. Núm. 71, tercer trimestre. pp. 27-39.

**Rodríguez Orejón, A., Del Río Merino, M.** (2010) Adición de residuos de yeso laminado tratado, en el yeso de construcción. *Trabajo Fin de Máster en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid*, Máster Técnicas y Sistemas de Edificación.

**Romaniega Piñeiro, S., Del Río Merino, M.** (2010) Refuerzo del yeso mediante fibras procedentes del reciclaje. *Libro de Actas del II Congreso Nacional de Investigación en Edificación*, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid, 15-16-17 de diciembre. ISBN: 978-84-693-2844-8

**Singh, M., Garg M.** (1994) Gypsum-based fibre-reinforced composites: an alternative to timber. *Construction and Building Materials*, vol. 8, nº 3, pp. 155-160.

**Turgut, P., Yesilata, B.** (2008) Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks. *Energy and Buildings*, nº 40, pp. 679-688.

**UNE-EN 102-039-85.** (1985) Yesos y escayolas de construcción, Determinación de la Dureza Shore C, y de la dureza Brinell. *AENOR*.

**UNE-EN 13279-2.** (2009) Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. *AENOR*

**Yesilata, B., Isiker, Y., Turgut, P.** (2009) Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials*, 23, pp. 1878-1882.